

**Сибирское отделение РАН
Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН**

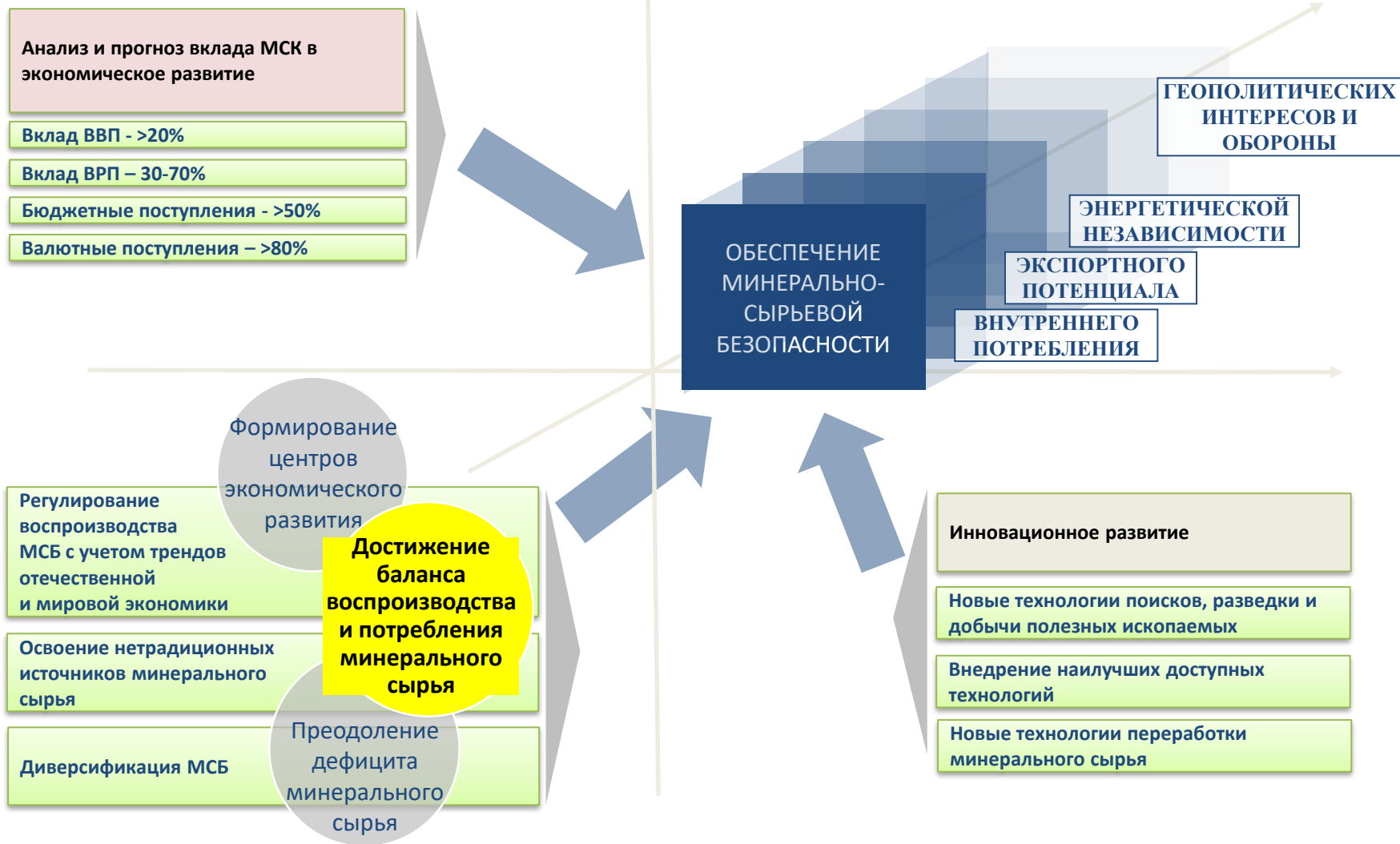
**Перспективы развития и освоения сырьевой базы стратегически
важных полезных ископаемых Сибирской Арктики**

Н.П. Похиленко

**Заседание Президиума СО РАН
Новосибирск, 16 февраля, 2023**

СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ РОССИИ

ЦЕЛЬ: Минерально-сырьевое обеспечение устойчивого развития экономики и национальной безопасности



Основные проблемы развития сырьевой базы ТПИ Центральной и Восточной Сибири (и РФ в целом)

- Сокращение и практическое исчерпание поискового задела по большинству стратегических видов полезных ископаемых
- Резкое сокращение государственного фонда рентабельных участков недр для их предоставления в пользование
- Инфраструктурные ограничения новых открытий в неосвоенных районах страны
- Отсутствие научно-обоснованных предпосылок концентрации имеющихся ресурсов на отдельных направлениях и территориях (**основная причина – отсутствие программно-целевого планирования**)
- Отсутствие необходимых организационно-финансовых условий для эффективной поисковой деятельности юниорных компаний

Структура геологических исследований недр и развития МСБ ТПИ России:

- *Геологоразведочные службы частных горнорудных компаний* - оценка и разведка объектов с минимальными рисками неподтверждения геолого-экономических характеристик – **77-78%**
- *Малые и средние сервисные (юниорного типа) компании* – геологические исследования слабо изученных участков на основе заявительного принципа – до **8,5-9%**
- *Предприятия государственной собственности* – региональные геологические исследования, поисково-оценочные работы по государственным программам – **10-11%**
- *Региональные и центральные НИИ РАН* – фундаментальные исследования недр – до **2,5-3%**

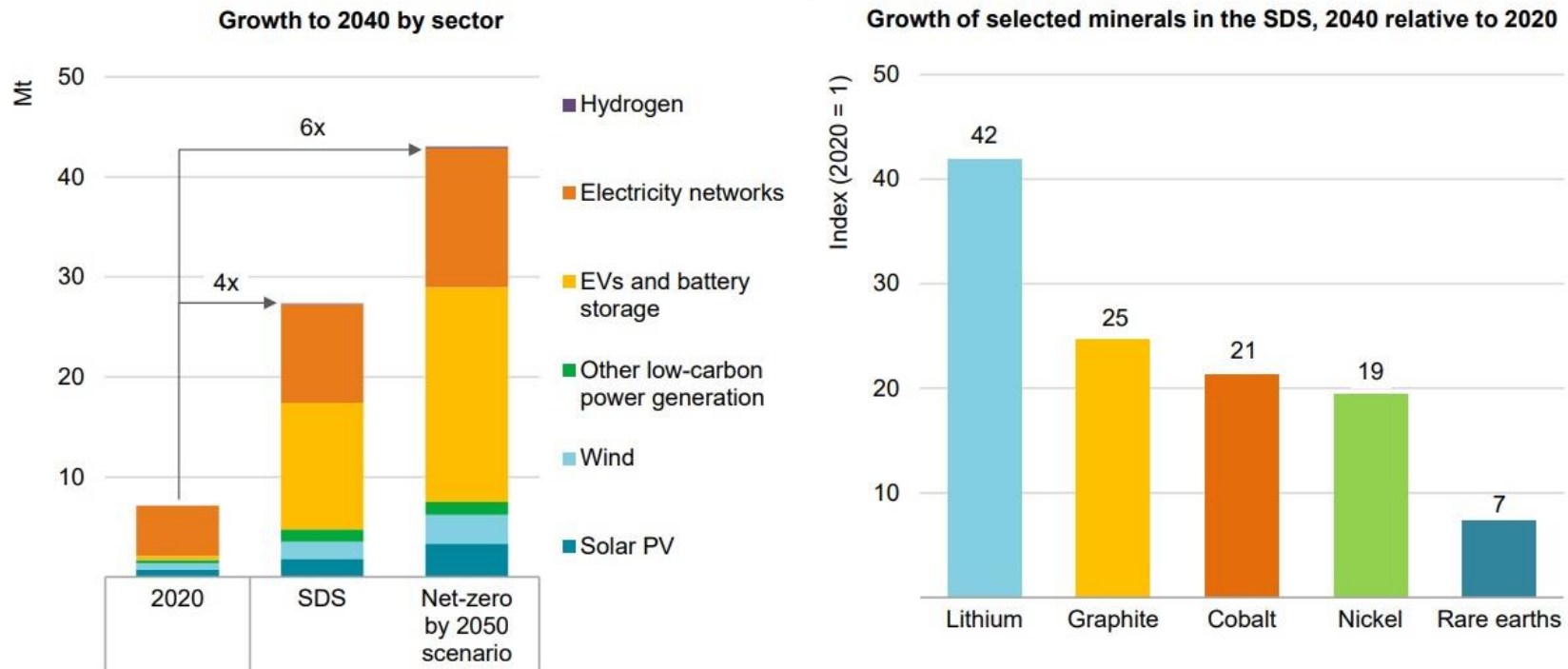
Многолетнее использование инерционной модели развития обусловило потерю стратегической системы государственного управления геологическим изучением недр страны и воспроизводства минерально-сырьевой базы

Несмотря на видимую деградацию общего состояния геологоразведочной отрасли страны и весьма серьезные негативные изменения в минерально-сырьевом комплексе страны **ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ОТРАСЛЬ В СИСТЕМУ РЫНОЧНЫХ ОТНОШЕНИЙ ТАК И НЕ ВПИСАЛАСЬ**

ПОТРЕБЛЕНИЕ СЫРЬЯ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЙ «ЧИСТОЙ» ЭНЕРГЕТИКИ ВЫРАСТЕТ, КАК МИНИМУМ, В 4 РАЗА К 2040 ГОДУ, И ОСОБЕННО ВЫСОКИМ БУДЕТ РОСТ СЫРЬЯ, НЕОБХОДИМОГО ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

Mineral demand for clean energy technologies would rise by at least four times by 2040 to meet climate goals, with particularly high growth for EV-related minerals

Mineral demand for clean energy technologies by scenario



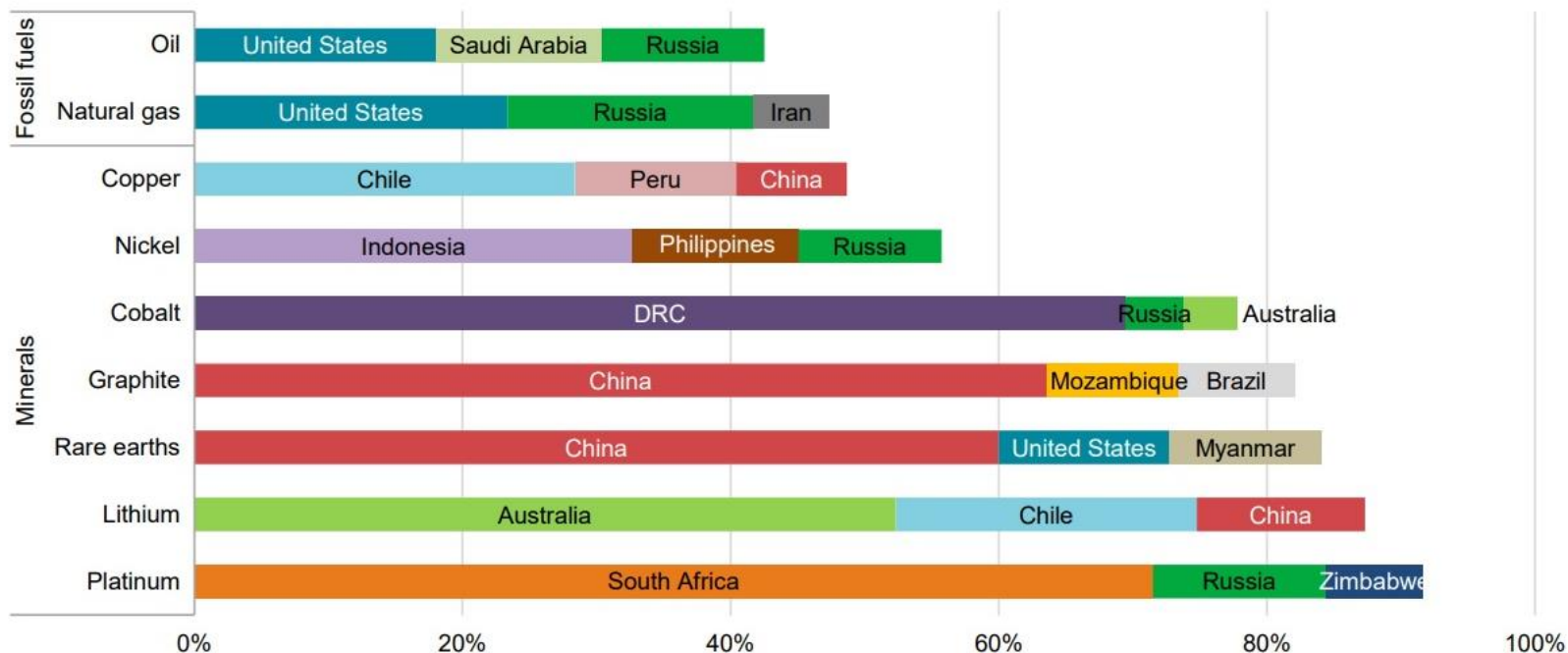
IEA. All rights reserved.

Notes: Mt = million tonnes. Includes all minerals in the scope of this report, but does not include steel and aluminium. See Annex for a full list of minerals.

ПРОИЗВОДСТВО МНОГИХ ВИДОВ СЫРЬЯ ДЛЯ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ, ВКЛЮЧАЯ ПЕРЕХОДНУЮ ЭНЕРГЕТИКУ, В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ ГЕОГРАФИЧЕСКИ БОЛЕЕ СКОНЦЕНТРИРОВАНО. НЕЖЕЛИ ПРОИЗВОДСТВО НЕФТИ И ГАЗА

Current production of many energy transition minerals is more geographically concentrated than that of oil or natural gas

Share of top three producing countries in total production for selected minerals and fossil fuels, 2019



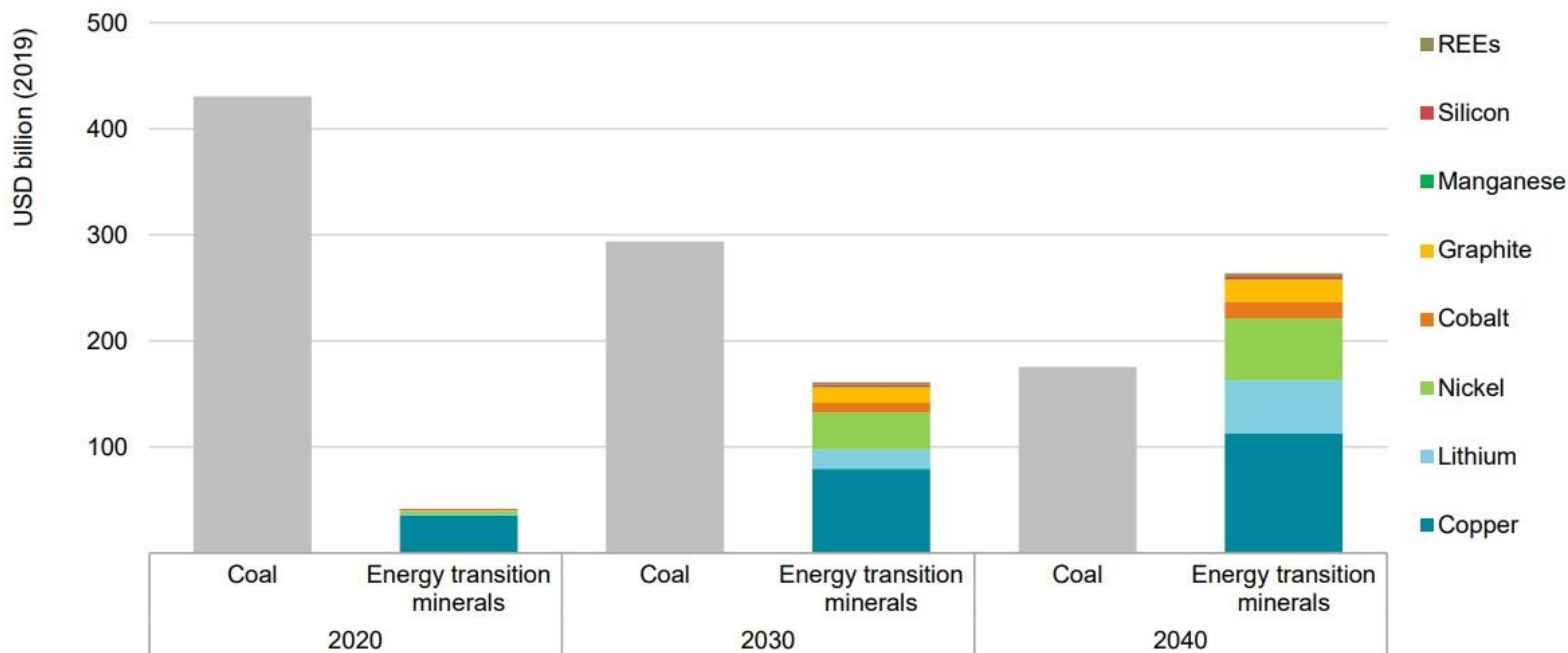
IEA. All rights reserved.

Sources: IEA (2020b); USGS (2021).

ИЗМЕНЕНИЯ ДОХОДОВ ОТ ПОТРЕБЛЕНИЯ УГЛЕРОДНОГО ТОПЛИВА И СЫРЬЯ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЙ «ЧИСТОЙ» ЭНЕРГЕТИКИ

Changing fortunes: Coal vs energy transition minerals

Revenue from production of coal and selected energy transition minerals in the SDS



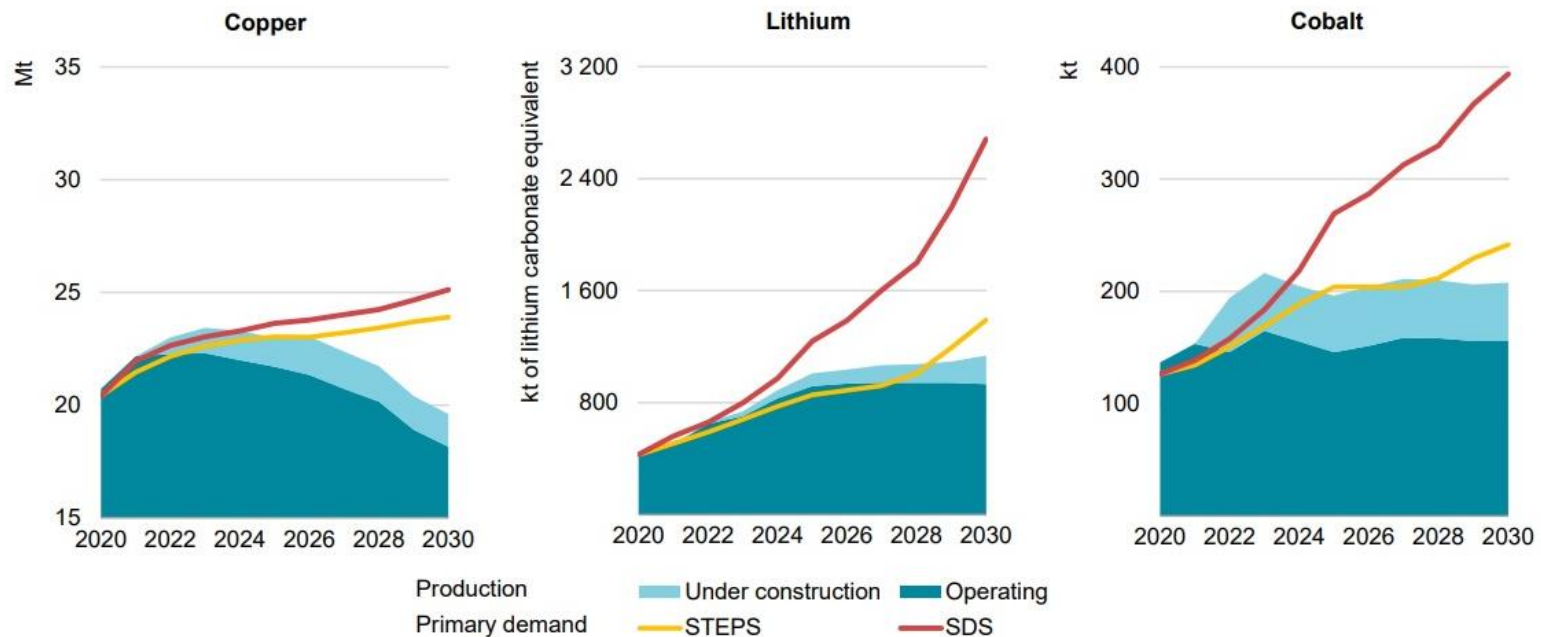
IEA. All rights reserved.

Notes: Revenue for energy transition minerals includes only the volume consumed in clean energy technologies, not total demand. Future prices for coal are projected equilibrium prices in *WEO 2020 SDS*. Prices for energy transition minerals are based on conservative assumptions about future price trends (moderate growth of around 10-20% from today's levels).

СРАВНЕНИЕ СЦЕНАРИЕВ РАЗВИТИЯ ДОБЫЧИ И ПОТРЕБЛЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ СЫРЬЯ, НЕОБХОДИМОГО ДЛЯ РАЗВИТИЯ «ЧИСТОЙ» ЭНЕРГЕТИКИ

Meeting primary demand in the SDS requires strong growth in investment to bring forward new supply sources over the next decade

Committed mine production and primary demand for selected minerals



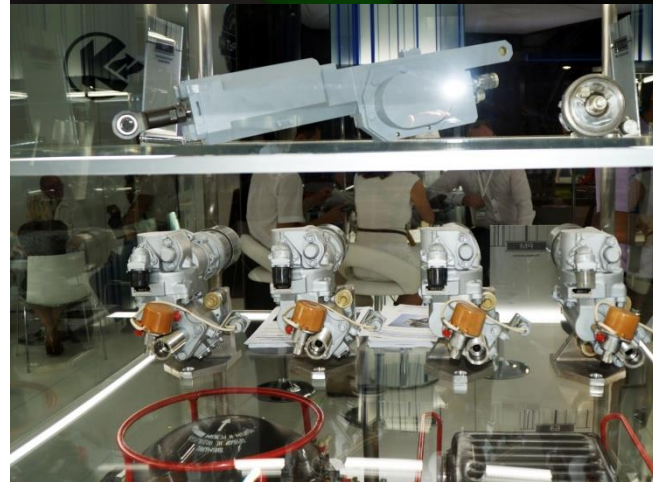
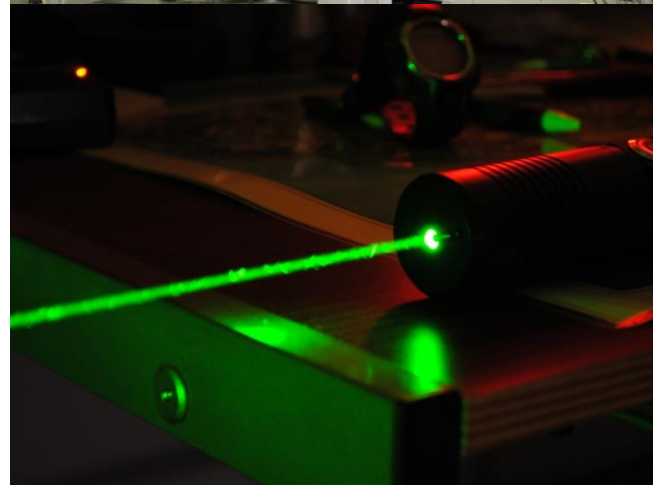
IEA. All rights reserved.

Notes: Primary demand is total demand net of recycled volume (also called primary supply requirements). Projected production profiles are sourced from the S&P Global Market Intelligence database with adjustments to unspecified volumes. Operating projects include the expansion of existing mines. Under-construction projects include those for which the development stage is indicated as commissioning, construction planned, construction started or preproduction. Mt = million tonnes.

Source: IEA analysis based on S&P Global (2021).

Обеспечение экономики страны редкими и редкоземельными металлами (далее – РМ и РЗМ) носит критический характер для национальной безопасности и является важным условием модернизации промышленности. Без РМ и РЗМ невозможно полноценное внедрение 14 из 27 критических технологий, утвержденных Указом Президента Российской Федерации от 07 июня 2011 г. № 899, в том числе:

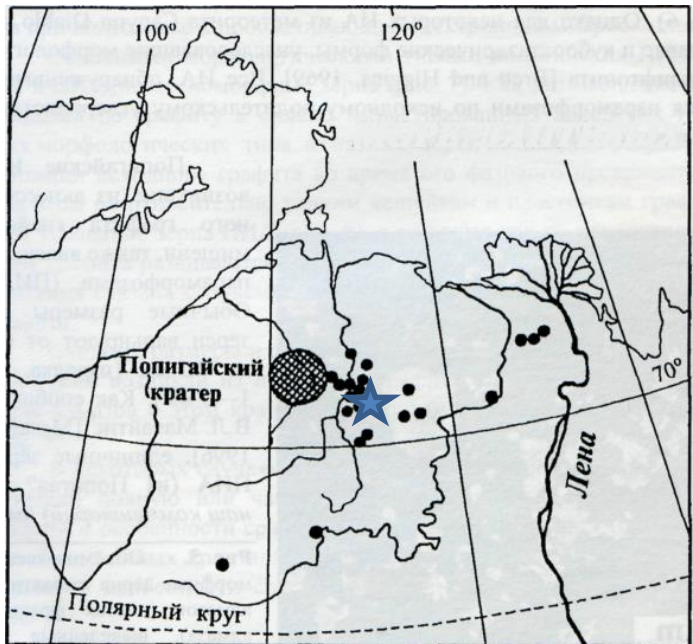
- военные и промышленные для создания перспективных видов вооружения, военной и специальной техники;
- создание электронной компонентной базы и энергоэффективных световых устройств;
- силовая электротехника;
- атомная энергетика, ядерный топливный цикл, безопасное обращение с РА-отходами и отработавшим ЯТ;
- информационные, управляющие, навигационные системы;
- наноустройства и микросистемная техника;
- новые и возобновляемые источники энергии, включая водородную энергетику;
- получение и обработка конструкционных наноматериалов;
- создание высокоскоростных транспортных средств и интеллектуальных систем управления новыми видами транспорта;
- создание ракетно-космической и транспортной техники нового поколения;
- создание энергосберегающих систем транспортировки, распределения и использования энергии;
- производство металлов и сплавов со специальными свойствами.



Облако сфер применения РЗМ



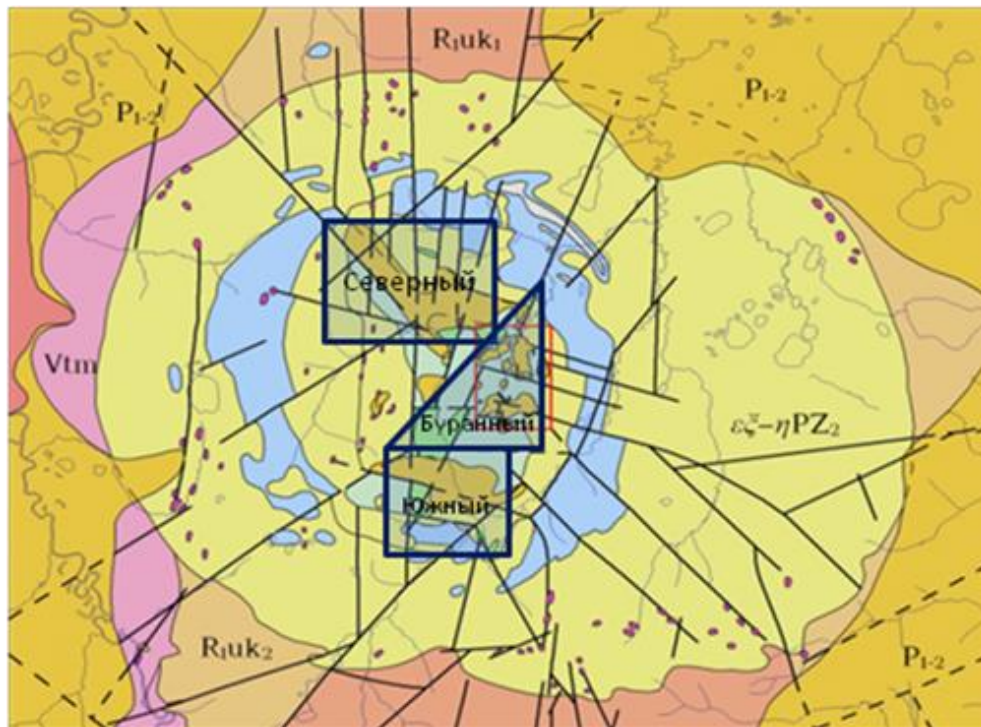
Известно более 100 областей применения РЗМ, а номенклатура конечной РЗМ-продукции насчитывает тысячи позиций.



Параметры Томторского Nb-редкоземельного месторождения

Общие ресурсы Томторского месторождения колоссальны: Nb_2O_5 – 73.636 млн.т., TR_2O_3 - 153.706 млн.т., P_2O_5 - около 2 млрд.т.

По ресурсам редких элементов и их концентрациям Томтор является безусловным лидером нашей планеты. В мире такие объекты редки, поэтому Томтор по праву стоит в одном ряду с месторождениями-гигантами, такими, как Витватерсранд или **Сухой лог** (золото), **Чукикамата** (медь), **Норильская группа** (медь, никель, платиноиды), заняв лидерство в группе РЗЭ объектов, опередив месторождения ниобия (Араша, Бразилия) и редких земель (Маунтин-Пасс, США; Баюнь-Обо, Китай).



На площади 30 км² располагаются 3 изолированных участка распространения рудного пласта пироксоломонацит-крандаллитовых руд (Северный, Буранный и Южный). На участке Буранный оценено свыше 42 млн т. руды (Толстов, 1999).

Утвержденные запасы участка Буранный (по борту - 3,5% Nb_2O_5): 1,2 млн тонн сухой руды (при содержании Nb_2O_5 – 6,7%, TR_2O_3 – 10,1%, в т.ч. Y_2O_3 – 0,6% Sc_2O_3 – 0,05%);

Томтор имеет приоритетное значение среди других сырьевых источников, поскольку позволяет обеспечить любые потребности российской промышленности и мировой экономики в РЗЭ на обозримый период в полном спектре. В пределах рудного поля можно выделить блоки руды практически с любыми заданными параметрами, как например блок иттрий-скандиевых руд.

Кроме того, на территории Уджинского поднятия, поблизости от массива Томтор, имеются еще четыре практически неизученных массива подобного типа.

№	Элемент,	Сод-е, % / кг/т
1	ΣРЗО	12,5 / 125
	В т.ч. La ₂ O ₃	2,6 / 26
	CeO ₂	6,3 / 63
	Pr ₆ O ₁₁	0,56 / 5,6
	Nd ₂ O ₃	2,17 / 21,7
	Sm ₂ O ₃	0,25 / 2,5
	Eu ₂ O ₃	0,08 / 0,8
	Gd ₂ O ₃	0,25 / 2,5
	Tb ₂ O ₃	0,02 / 0,2
	Dy ₂ O ₃	0,15 / 1,5
	Ho ₂ O ₃	0,02 / 0,2
	Er ₂ O ₃	0,04 / 0,4
	Tm ₂ O ₃	0,01 / 0,1
	Yb ₂ O ₃	0,04 / 0,4
	Lu ₂ O ₃	0,01 / 0,1
2	Y ₂ O ₃	0,73 / 7,3
3	Sc ₂ O ₃	0,057 / 0,57
4	Nb ₂ O ₅	6,7 / 67 !!!
5	Ta ₂ O ₅	0,007 / 0,07
6	TiO ₂	5,0 / 50
7	V ₂ O ₅	1,2 / 12
8	Al ₂ O ₃	17,1 / 171
9	P ₂ O ₅	16,0 / 160

**Состав руды Томторского месторождения
редких элементов (участок Буранный)**

10	MnO	0,15
11	PbO	0,28
12	ZnO	0,18
13	CuO	0,02
14	MgO	0,12
15	CaO	2,55
16	SrO	3,8 / 38
17	BaO	3,2 / 32
18	Na ₂ O	0,15
19	K ₂ O	0,07
20	ZrO ₂	0,29 / 2,9
21	ThO ₂	0,15 / 1,5
22	UO ₃	0,01 / 0,1
23	SiO ₂	3,8
24	SO ₃	0,51
25	CO ₂	1,54
26	F	0,5
27	H ₂ O	10,5
28	C _{орг}	0,86

Для успешной реализации вовлечения первой очереди Томторского месторождения в промышленное освоение необходимо на первом этапе в 2023-2027 г. выполнить следующие виды НИР и НИОКР, которые позволят обеспечить Россию РЗЭ:

- **Детальное изучение на современном уровне с использованием новейших методов и аналитической аппаратуры вещественного состава (минералогии, геохимии, петрологии) коренных щелочных, щелочно-ультраосновных пород и карбонатитов массива Томтор с целью установления закономерностей образования уникальной рудоносности**
- **Проведение НИР и НИОКР по доработке оптимальной схемы извлечения редких элементов из исходной руды и промежуточных продуктов гидрометаллургического передела с разработкой технологического регламента, включающего обоснование ассортимента получаемой высоколиквидной товарной продукции и логистические решения для размещения предприятий по их переделу.**
- **Институты СО РАН готовы подключиться к участию в решении этих задач. В них имеется научно-технический потенциал, высокопрофессиональные кадры, надежно обеспечивающие выполнение всего комплекса необходимых НИР и НИОКР: научно-методического сопровождения разведочных, опытно-промышленных и разведочно-эксплуатационных работ, включая геолого-экономическую оценку и технологическое обеспечение переработки руды в готовые конечные высоколиквидные и дефицитные продукты, содержащие РЗЭ.**

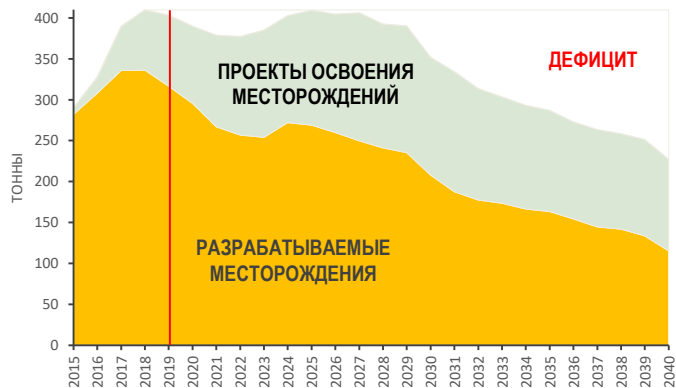
Виды полезных ископаемых, по которым, исходя из данных Государственного баланса запасов, в период до 2030 года требуются целенаправленные и минимально-достаточные мероприятия по воспроизводству МСБ:

Уран, железо, хром, медь, цинк, свинец, золото, серебро, алмазы, МПГ, калийные соли, апатиты, щелочные бентониты, кристаллический графит, барит.

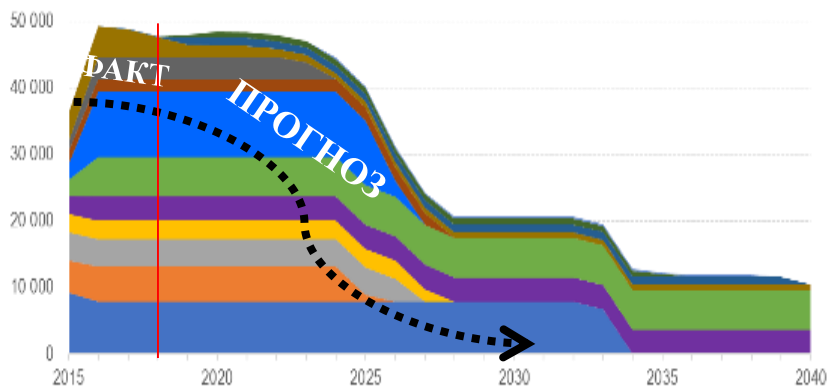
Целевые показатели по приросту запасов полезных ископаемых (С1+С2) в РФ до 2030 г. в базовом сценарии

Полезное ископаемое	Ед. изм.	2021–2025	2026–2030
Уран	тыс. т	15,3	15,3
Железо	млн т	1,257	1,317
Хром	млн т	15,57	20,75
Медь	млн т	6,552	7,488
Цинк	млн т	3,16	4,08
Свинец	млн т	1,93	2,31
Алмазы	млн карат	260	262
Золото	т	2702	2824
Серебро	тыс. т	19,32	20,7
МПГ	т	583	630
Калийные соли	млн т	584,3	656
Апатиты	млн т	46,7	63,3
Бентониты	млн т	13,52	8,32
Графит	тыс. т	652	712
Барит	тыс. т	3916	3995,1

ПРОГНОЗ ДОБЫЧИ ЗОЛОТА НА ДВ В СООТВЕТСТВИИ С ДЕЙСТВУЮЩИМИ ЛИЦЕНЗИОННЫМИ СОГЛАШЕНИЯМИ



ПРОГНОЗ ДОБЫЧИ АЛМАЗОВ В СООТВЕТСТВИИ С ДЕЙСТВУЮЩИМИ ЛИЦЕНЗИОННЫМИ СОГЛАШЕНИЯМИ



Регион/год	Прогноз ВИМС		Факт	
	2017	2018	2017	2018
Чукотка	38	32	21,466	20,485
Хабаровск	29	24	24,429	26,914
Якутия	30	33,5	23,662	28,796
Магадан	36,5	50	32,464	36,718
Камчатка	6	6	6,377	5,741
Амурская	24,5	26	26,795	23,611
Выводы	164	171,5	135,193	142,265

Предложение ВИМС:

Необходимый прирост прогнозных ресурсов и запасов золота:

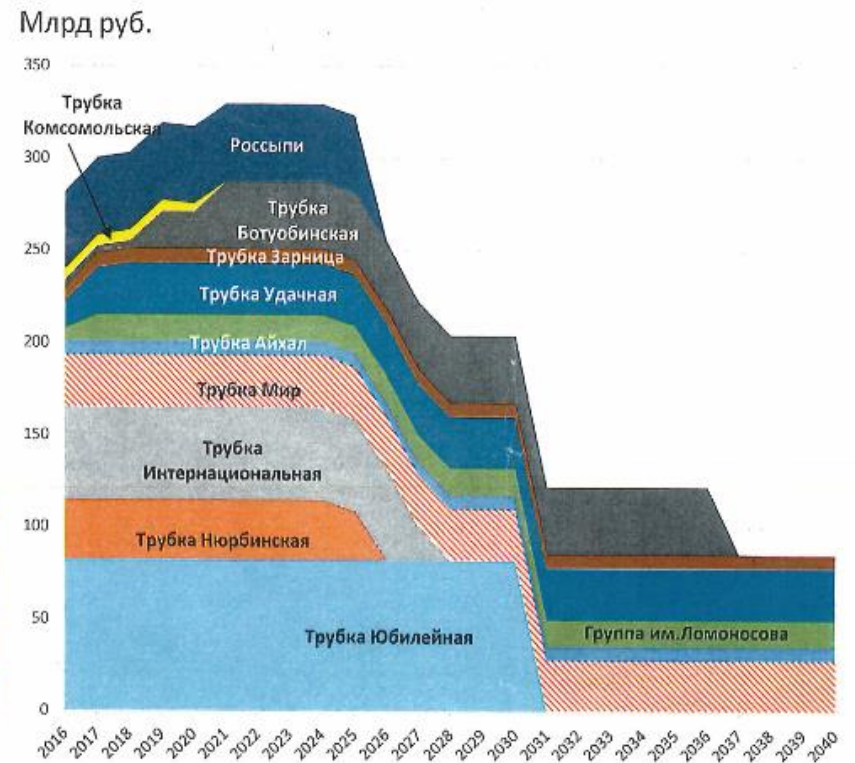
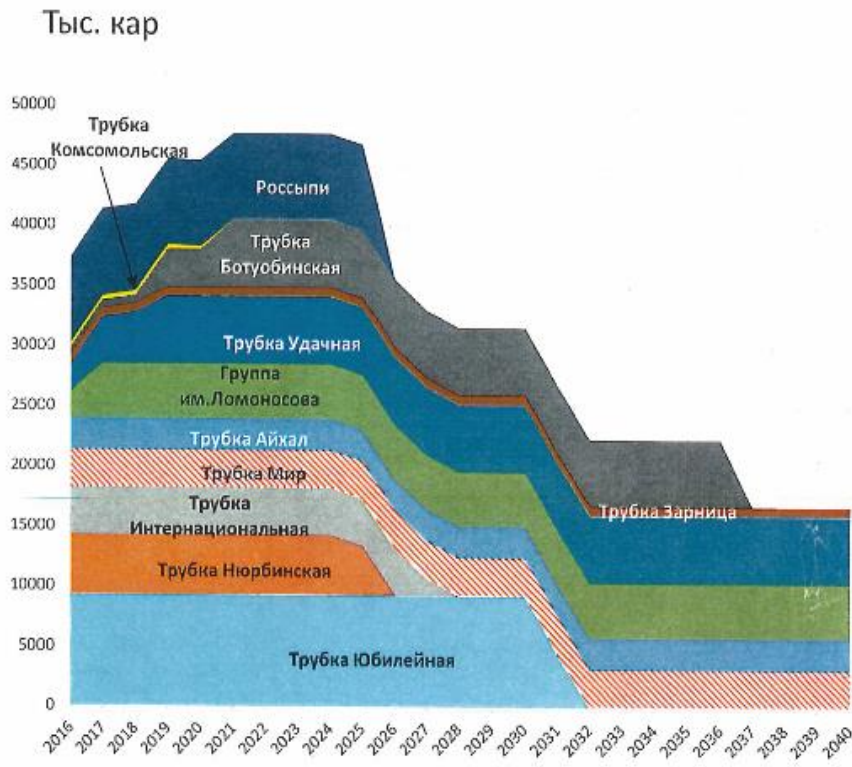
- в Чукотском АО: $P_1 - 943,2$ т, затраты – 10,6 млрд руб., запасы – 471,6 т;
- в Хабаровском крае: $P_1 - 629,6$ т, затраты – 7 млрд руб., запасы – 314,8 т;
- в Республике Саха (Якутия): $P_1 - 394,6$ т, затраты – 4,5 млрд руб., запасы – 197,3 т;
- в Магаданской области: $P_1 - 559,2$ т, затраты – 6,3 млрд руб., запасы – 279,6 т;
- в Камчатском крае: $P_1 - 475,6$ т, затраты – 5,4 млрд руб., запасы – 237,8 т;
- в Амурской области: $P_1 - 588,6$ т, затраты – 6,7 млрд руб., запасы – 294,3 т;

- Трубка Заря (развед.)
- Майское и Майская россыпь
- Верхне-Мунское (развед.)
- Прочие
- Нюрбинская, россыпь
- Эбелях р., россыпь
- Трубка Ботубинская
- Трубка Удачная
- Трубка Мир
- Трубка Айхал
- Трубка Интернациональная
- Трубка Нюрбинская
- Трубка Юбилейная

По факту АЛРОСА снизила добычу алмазов в 2017 г. 39,6 млн карат, в 2018 г. на 7% до 36,7 млн карат. Срок существования действующих предприятий АК АЛРОСА - 10 лет

ПО МАТЕРИАЛАМ
ВИМС

Прогноз добычи алмазов на основных месторождениях России в натуральном (тыс. карат) и денежном (млрд. руб.) выражении



По данным Группы АЛРОСА и ГБЗ

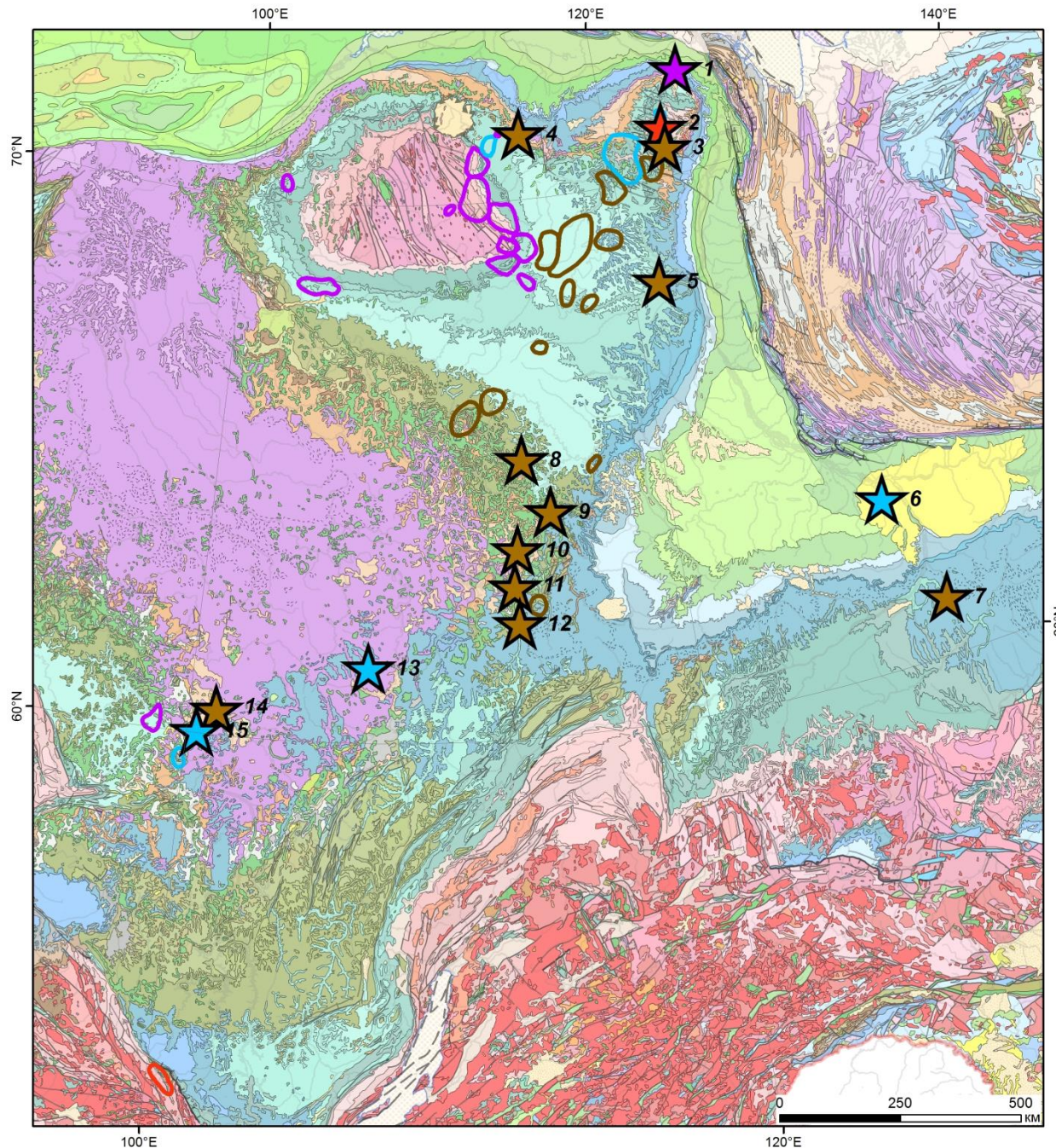
ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫЯВЛЕНИЯ КОРЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В АРКТИЧЕСКИХ РАЙОНАХ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ И ВЕРХОЯНЬЯ

Основные перспективы коренной алмазоносности арктических территорий Сибирской платформы связываются с кимберлитами среднепалеозойского возраста.

С учетом существенного осложнения ситуации с сырьевой базой отечественной алмазодобывающей промышленности начиная уже с 2030 года по причине последовательного исчерпания экономически качественных балансовых запасов необходима постановка опережающих работ по выявлению новых объектов с алмазным сырьем в арктических регионах Сибирской платформы.

В частности, в верховьях правых притоков реки Анабар в районе Уджинского поднятия, а также на территориях северного и южного обрамления Кютюнгинского прогиба установлены прямые признаки присутствия новых полей кимберлитов среднепалеозойского возраста, содержащих высокопродуктивные тела. Для их выявления необходимо проведение тематических работ прогнозно-поискового характера с использованием научно-методического и экспертного сопровождения специалистов Сибирского отделения РАН.

Обоснованные перспективы выявления месторождений золота и платины имеет территория Уджинского поднятия, золота – Верхоянский регион.



ИЗВЕСТНЫЕ КИМБЕРЛИТОВЫЕ ПОЛЯ:

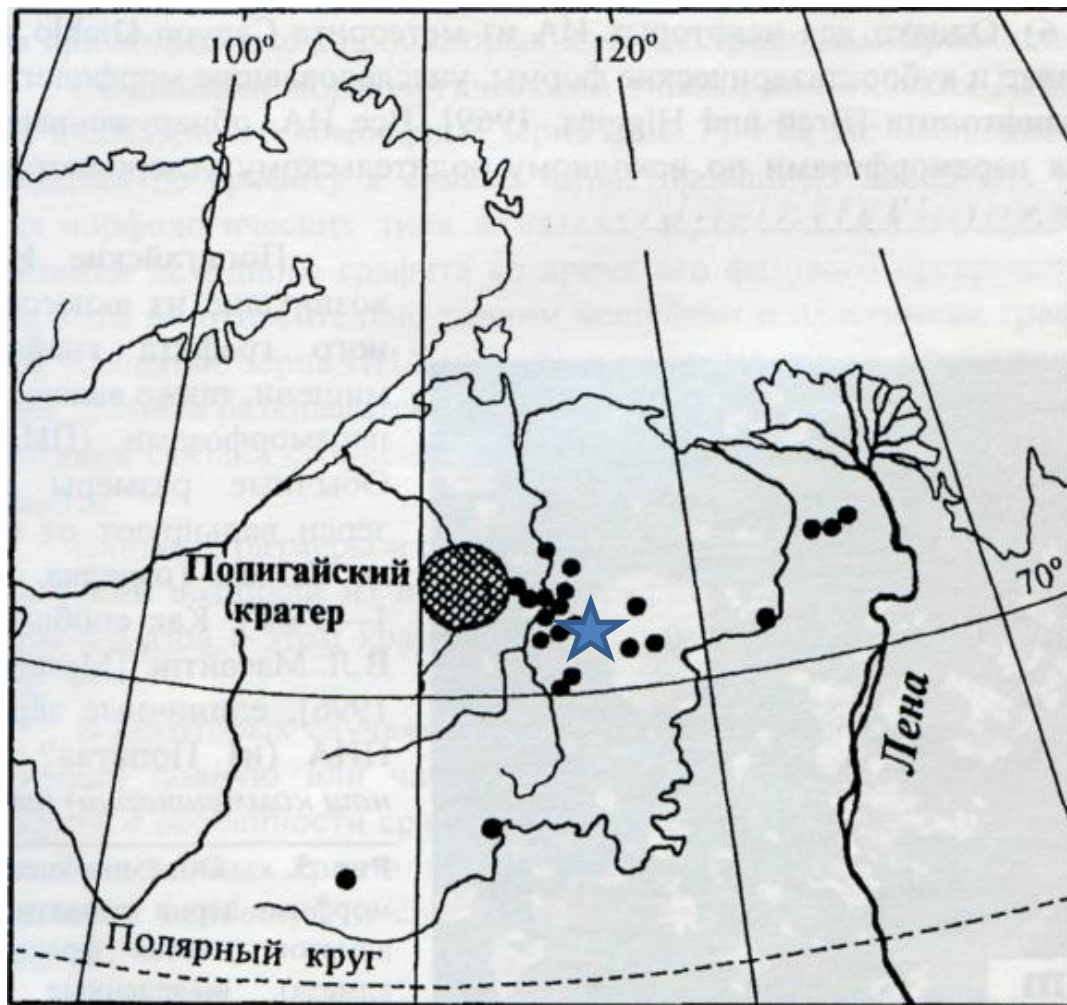
- ЮРСКИЕ
- ТРИАСОВЫЕ
- СРЕДНЕПАЛЕОЗОЙСКИЕ
- ПРОТЕРОЗОЙСКИЕ

ПРОГНОЗИРУЕМЫЕ КИМБЕРЛИТОВЫЕ ПОЛЯ:

- ★ ВЕРХНЕМЕЗОЗОЙСКИЕ (J3-K1)
- ★ НИЖНЕТРИАССОВЫЕ (T1)
- ★ СРЕДНЕПАЛЕОЗОЙСКИЕ (D3)
- ★ ПРОТЕРОЗОЙСКИЕ (PR2)

- 1 – КЕЛИМЯРСКОЕ,
- 2 – ЮЭТТЭХСКОЕ,
- 3 – КЮТЮНГДИНСКОЕ,
- 4 – МАЯТСКОЕ,
- 5 – НИЖНЕМУНСКОЕ,
- 6 – КЕНКЕМЕ,
- 7 – МЕНДСКОЕ (БАРЫЛАЙСКОЕ),
- 8 – МАРХА-МОРКОКИНСКОЕ,
- 9 – ЫГЫАТТИНСКОЕ,
- 10 – СЮЛЬДЮКАРСКОЕ,
- 11 – КУРУНГ-ЮРЯХСКОЕ,
- 12 – ЕЛЕНГСКОЕ,
- 13 – СИВИКАГНИНСКОЕ,
- 14 – ТАРЫДАКСКОЕ,
- 15 – ЕНБОЛАКСКОЕ

Географическое положение Попигайской астроблемы и Томторского ниобий-редкометального месторождения



~ 36 млн. лет назад метеорит размером более 6 км со скоростью около 30 км/сек врезался в Землю в арктической части Сибирской платформы, образовав кратер диаметром около 100 км.

При взрыве, длившемся около 1 секунды, давления достигали 140 GPa (1,4 млн. атм.), а температура - 3500-4000°C. В этих условиях часть графита, содержащегося в кристаллических породах мишени, трансформировалась в природный наноструктурированный агрегат кубического алмаза и более плотной и твердой гексагональной фазы углерода – лонсдейлита.

Разведанные в 80-х годах прошлого столетия и поставленные на баланс запасы изученного участка, площадь которого составляет лишь 0.3 % от общей площади кратера – 142 млрд. карат, что более чем в 30 раз выше мировых запасов обычных алмазов, а прогнозные ресурсы всего месторождения измеряются триллионами карат. Звездочкой обозначено положение Томторского ниобий-редкометального месторождения.

Технологические свойства импактных алмазов

Результаты испытаний абразивной способности алмазных шлифпорошков, полученных из импактного и синтетического сырья

Порошки импактного алмаза		Порошки синтетического алмаза	
Зернистость порошка, мм	Абразивная способность, отн. ед.	Зернистость порошка, мм	Абразивная способность, отн. ед.
-40	8,01	-40	3,70
50/40	8,45	50/40	3,90
63/50	8,60	63/50	4,00
80/63	8,71	80/63	4,21
100/80	9,60	100/80	4,30
125/100	8,41	125/100	4,52
160/125	9,5	160/125	4,58
200/160	7,71	200/160	4,52
250/200	8,02	250/200	4,47

Благодаря уплощенной форме частиц импактных алмазов *они обеспечивают чистоту обрабатываемой поверхности примерно на класс выше, чем синтетические алмазы*, частицы которых имеют изометричную форму и царапающие углы и вершины.

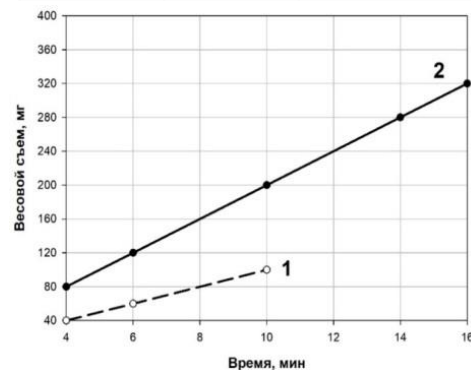
Основной объем технологических исследований проводится совместно с НАН Беларуси, где хорошо понимают ценность импактных алмазов и с энтузиазмом работают с ними.

Результаты технологических испытаний показали, что абразивный состав на основе импактных алмазов при магнитно-абразивной обработке пластин кремния обладает в 1,7–2 раза более высокой абразивной способностью и более чем в 2 раза более высокой стойкостью (временем эксплуатации) по сравнению с составом на основе синтетического алмаза АСМ.

Термостойкость импактных алмазов на 250 оС выше таковой для синтетических алмазов, а их удельная поверхность выше в 9 раз.

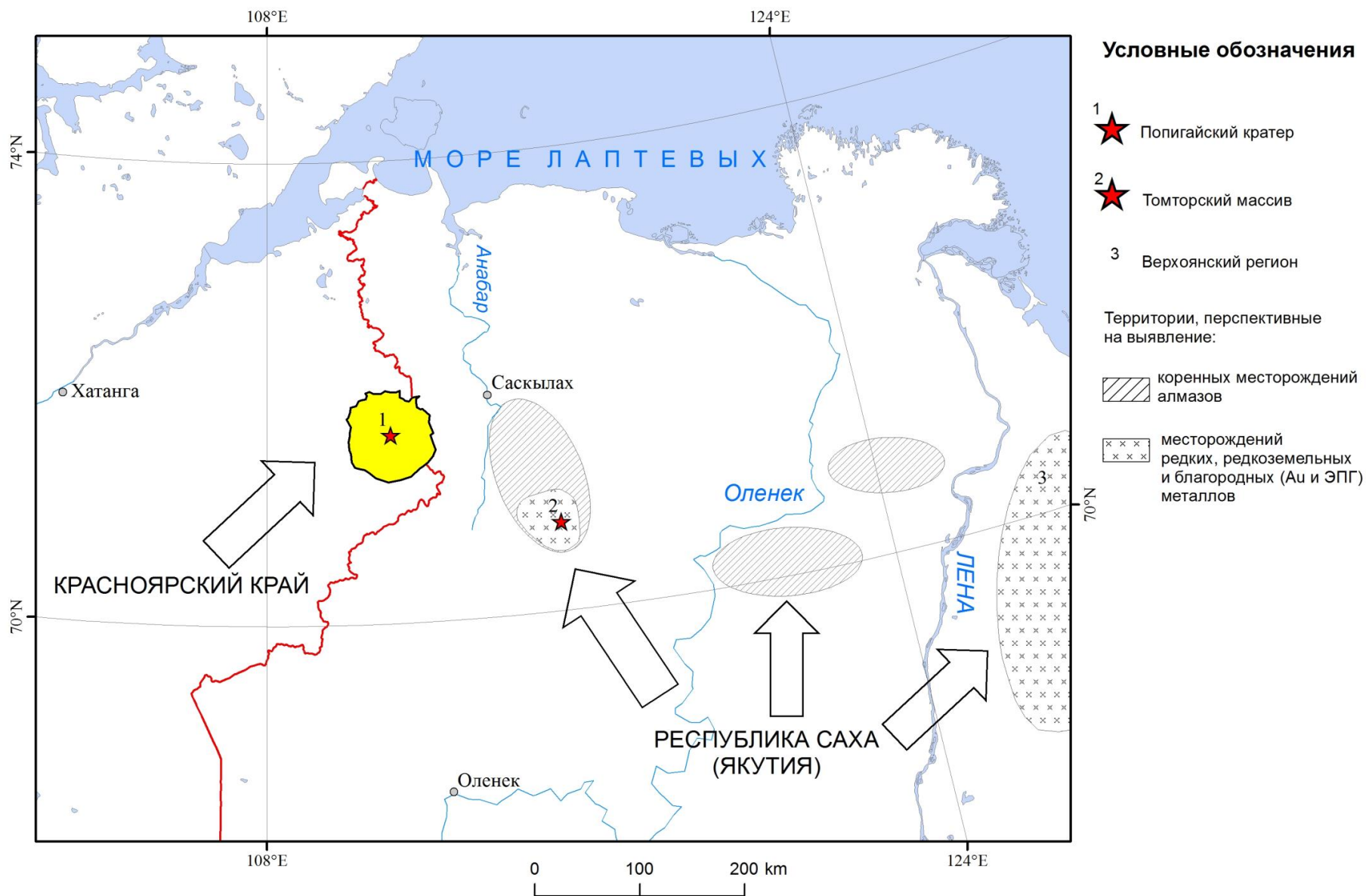
Результаты сравнительных испытаний алмазных композитов

Характеристика композиционного порошка		Обрабатываемый материал	Удельный съем материала, мг/мин	Стойкость, мин
Fe-Ti/имп.алм.	5/50мкм	Кремний	35,4	> 30
Fe-Ti/АСМ	5/50	Кремний	17,8	14



Стойкость алмазных композитов на основе синтетических алмазов АСМ (1) и импактных алмазов (2) на операции обработки пластин кремния.

СХЕМА ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЛЕНО-ХАТАНГСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ



ВЫВОДЫ:

1. Оптимальным вариантом решения имеющихся проблем явилось бы **воссоздание государственной системы планирования** стратегических геологических исследований, нацеленных на наращивание банка «поисковых заделов» по наиболее важным для развития промышленности и экономики страны видам полезных ископаемых, с активным участием в этих работах профильных академических институтов Минобрнауки РФ.

2. К задачам, решаемым профильными академическими институтами, относились бы: 1) участие в выборе и ранжировании территорий для последующего проведения на них прогнозно-оценочных работ; 2) научное, экспертное и аналитическое сопровождение прогнозно-оценочных работ, нацеленных на наращивание государственного банка надежных и привлекательных для недропользователей «поисковых заделов».

3. Для решения этих задач **необходимо воссоздать в нынешней системе геологического изучения недр утерянную стадию тематических прогнозных (ревизионных) и прогнозно-минерагенических работ**, нацеленных на объективное и надежное выделение объектов для проведения дальнейших поисковых работ. *Работы, входящие в эту стадию, не требуют больших затрат времени и средств, однако именно такие работы многократно снижают риски неудач дорогостоящих и длительных поисковых работ.*

4. Для обеспечения возможности участия профильных академических институтов в научном, экспертном, технологическом и кадровом сопровождении тематических прогнозных и прогнозно-минерагенических работ, нацеленных на выявление «поисковых заделов», следует предусмотреть в рамках государственной программы выделение соответствующих бюджетных средств в Министерство науки и высшего образования РФ.



Спасибо за внимание!